

บทที่ 7

การออกแบบการทดลอง

1. บทนำ

การคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย เป็นปัญหารูปแบบที่ไม่เป็นโพลีโนเมียล (NP-hard) ยากต่อการหาคำตอบที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ซึ่งในการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการสร้างฮิวริสติกอัลกอริทึมจึงเป็นวิธีที่นำมาใช้ในการหาคำตอบแทนการหาคำตอบจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น ในบทที่ 7 นี้ ได้แสดงการประเมินประสิทธิภาพของฮิวริสติกอัลกอริทึม โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมกับค่าขอบเขตบน และหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผลกระทบต่อคำตอบที่เป็นผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยซึ่งเป็นผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ

2. การออกแบบการทดลองของฮิวริสติกอัลกอริทึมของการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกอ้อยและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย

การออกแบบการทดลองของการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย เป็นวิธีที่ใช้ในการปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองในการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถหาคำตอบได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ได้นำเสนอในบทที่ 5

การออกแบบการทดลอง ได้ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^k (2^k Factorial design) ซึ่งมีรายละเอียดของการออกแบบการทดลอง เป็นดังนี้

2.1 ปัจจัย (Factors) ที่พิจารณาในการทดลอง ปัจจัยที่ได้พิจารณาให้เป็นปัจจัยในการทดลอง มีจำนวน 3 ปัจจัย ($k = 3$) ได้แก่

2.1.1 ความสม่ำเสมอของความต้องการปริมาณอ้อยในแต่ละวัน (A) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

(1) ระดับต่ำ (Low level) คือ ความต้องการของปริมาณอ้อยในแต่ละวันมีค่าเท่ากัน

(2) ระดับสูง (High level) คือ ความต้องการของปริมาณอ้อยในแต่ละวันมีค่าไม่เท่ากัน

2.1.2 จำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อยที่สนใจ (B) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

(1) ระดับต่ำ (Low level) คือ มีจำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อยที่สนใจ 60 วัน

(2) ระดับสูง (High level) คือ มีจำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อยที่สนใจ 90 วัน

2.1.3 จำนวนแปลงเพาะปลูกที่สนใจ (C) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

(1) ระดับต่ำ (Low level) คือ มีจำนวนแปลงเพาะปลูกที่สนใจ 30 แปลง

(2) ระดับสูง (High level) คือ มีจำนวนแปลงเพาะปลูกที่สนใจ 60 แปลง

2.2 ผลตอบสนอง (Response) ของการทดลอง ผลตอบสนองที่สนใจของปัญหาการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้

2.2.1 กรณีที่ 1 การเปรียบเทียบการปรับปรุงค่าตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาค่าตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริชกับฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาค่าตอบเริ่มต้น ผลตอบสนองที่สนใจ คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาค่าตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาค่าตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1) กับการหาค่าตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2)

2.2.2 กรณีที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกอัลกอริทึมการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย ผลตอบสนองที่สนใจ คือ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาค่าตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมกับค่าขอบเขตบน

2.3 จำนวนซ้ำ (Replication) ของการทดลอง การทดลองในแต่ละคอมบินเนชันของปัจจัยทั้งสาม มีจำนวนซ้ำ 10 ซ้ำ

2.4 การทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ เป็นการทดสอบว่าแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองของการทดลอง ระดับใดของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Duncan's Multiple Range test

2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้ ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของตัวอย่างปัญหาที่กำหนดขึ้นในการป้อนเข้าข้อมูลในการคำนวณหาค่าผลผลิตน้ำตาล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

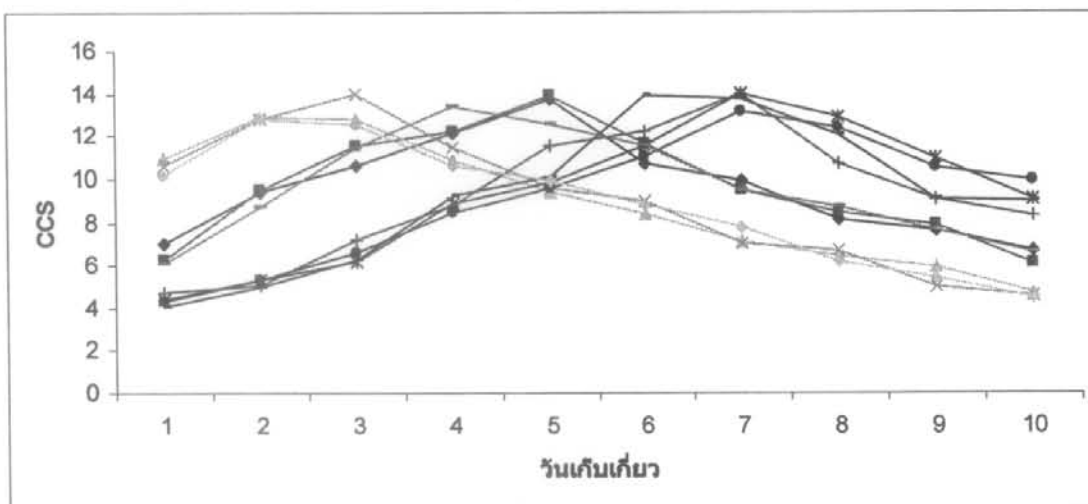
2.5.1 ค่าความหวานของอ้อยในแต่ละแปลงเพาะปลูก ตัวอย่างในการคำนวณจะใช้การสุ่มค่าจากช่วงค่าความหวานตั้งแต่ 4- 14 ซึ่งการสุ่มนั้นจะกำหนดให้เป็น 3 ช่วง คือ

(1) ช่วงที่อ้อยมีค่าความหวานค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น

(2) ช่วงที่อ้อยมีค่าความหวานสูงสุด

(3) ช่วงที่อ้อยมีค่าความหวานค่อยๆลดลง

ยกตัวอย่างการสุ่มค่าความหวานสำหรับแปลงเพาะปลูก 10 แปลง และมีจำนวนวันเก็บเกี่ยว 10 วัน แสดงได้ดังภาพที่ 7.1



ภาพที่ 7.1 แสดงค่าความหวานที่ทำการสุ่มขึ้นมาเป็นตัวอย่างในการทดลอง

2.5.2 จำนวนอ้อยของแต่ละแปลงเพาะปลูก ในแต่ละตัวอย่าง จำนวนอ้อยที่กำหนดให้มีในแปลงเพาะปลูก แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

- (1) กลุ่มที่มีจำนวนอ้อยปริมาณน้อย มีจำนวนอ้อยอยู่ระหว่าง 60-360 ต้น
- (2) กลุ่มที่มีจำนวนอ้อยปริมาณปานกลาง มีจำนวนอ้อยอยู่ระหว่าง 90-490 ต้น
- (3) กลุ่มที่มีจำนวนอ้อยปริมาณมาก มีจำนวนอ้อยอยู่ระหว่าง 120-590 ต้น

2.5.3 ผลรวมของปริมาณอ้อยจากทุกแปลงเพาะปลูกมีค่ามากกว่าผลรวมของปริมาณอ้อยที่โรงงานต้องการตามกำลังการผลิต ตามสมมติฐานงานวิจัย โดยค่าความแตกต่างของผลรวมทั้งสองจะอยู่ระหว่าง 700-1,000 ต้น

2.5.4 ปริมาณบรรทุกและจำนวนรถบรรทุก กำหนดให้มีปริมาณบรรทุก 1 ขนาด คือ 20 ต้นต่อคัน และผลรวมของจำนวนรถบรรทุกของทุกแปลงเพาะปลูกมีปริมาณมากเพียงพอต่อการขนส่งอ้อยทั้งหมดสำหรับทุกวันเก็บเกี่ยวที่พิจารณา

รูปแบบการทดลองการออกแบบการทดลองที่กล่าวมานั้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่

ตารางที่ 7.1 แสดงรูปแบบการทดลอง

คอมบินเนชัน ที่	จำนวนซ้ำ	ปัจจัย A		ปัจจัย B		ปัจจัย C	
		Low (สม่ำเสมอ)	High (ไม่สม่ำเสมอ)	Low (60 วัน)	High (90 วัน)	Low (30 แปลง)	High (60 แปลง)
1	10 ซ้ำ	✓		✓		✓	
2	10 ซ้ำ	✓		✓			✓
3	10 ซ้ำ	✓			✓	✓	
4	10 ซ้ำ	✓			✓		✓
5	10 ซ้ำ		✓	✓		✓	
6	10 ซ้ำ		✓	✓			✓
7	10 ซ้ำ		✓		✓	✓	
8	10 ซ้ำ		✓		✓		✓

3. การเปรียบเทียบการปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2) กับฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1)

จากฮิวริสติกอัลกอริทึมการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ได้นำเสนอในบทที่ 5 ซึ่งมีการแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 ฮิวริสติกอัลกอริทึมการหาค่าผลผลิตน้ำตาลรวมเพื่อเป็นคำตอบเริ่มต้น และ

ระยะที่ 2 วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช

การเปรียบเทียบการปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีทาบูเสริช จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^3 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1) กับการหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2) ซึ่งผลผลิตน้ำตาลรวมที่เป็นคำตอบจากทั้งสองวิธีสามารถแสดงดังตารางที่ 7.2 และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1) กับการหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2) แสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.2 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม (ระยะที่ 1) และ วิธีทาบูลีเรช (ระยะที่ 2)

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของความต้องการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีฮิวริสติก (ระยะที่ 1)	วิธีทาบูลีเรช (ระยะที่ 2)
1	-	-	-	55,683	55,735
2	-	-	-	68,776	68,803
3	-	-	-	62,385	62,385
4	-	-	-	58,348	58,348
5	-	-	-	66,343	66,387
6	-	-	-	68,625	68,675
7	-	-	-	65,081	65,087
8	-	-	-	62,446	62,471
9	-	-	-	58,498	58,606
10	-	-	-	55,760	55,760
11	-	-	+	137,180	137,332
12	-	-	+	172,361	172,361
13	-	-	+	151,923	151,937
14	-	-	+	159,875	159,875
15	-	-	+	104,453	104,453
16	-	-	+	69,684	69,703
17	-	-	+	90,303	90,303
18	-	-	+	124,725	124,725
19	-	-	+	111,841	111,841
20	-	-	+	84,067	84,094
21	-	+	-	94,918	94,918
22	-	+	-	132,835	132,835
23	-	+	-	85,663	85,684
24	-	+	-	114,185	114,185
25	-	+	-	104,633	104,647
26	-	+	-	95,718	95,718
27	-	+	-	66,874	66,874
28	-	+	-	86,089	86,104

ตารางที่ 7.2 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม (ระยะที่ 1) และ วิธีทาบูลีเซิร์ช (ระยะที่ 2) (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของความต้องการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีฮิวริสติก (ระยะที่ 1)	วิธีทาบูลีเซิร์ช (ระยะที่ 2)
29	-	+	-	133,100	133,100
30	-	+	-	76,465	76,469
31	-	+	+	57,501	57,501
32	-	+	+	48,181	48,181
33	-	+	+	95,528	95,528
34	-	+	+	76,719	76,719
35	-	+	+	85,860	85,860
36	-	+	+	67,354	67,354
37	-	+	+	76,665	76,665
38	-	+	+	85,662	85,668
39	-	+	+	95,370	95,370
40	-	+	+	57,258	57,258
41	+	-	-	53,420	53,427
42	+	-	-	67,078	67,134
43	+	-	-	62,476	62,490
44	+	-	-	55,883	55,895
45	+	-	-	64,648	64,648
46	+	-	-	67,107	67,107
47	+	-	-	63,486	63,562
48	+	-	-	64,046	64,050
49	+	-	-	58,840	58,846
50	+	-	-	54,407	54,407
51	+	-	+	139,091	139,091
52	+	-	+	172,661	172,661
53	+	-	+	150,005	150,005
54	+	-	+	158,701	158,733
55	+	-	+	103,018	103,018
56	+	-	+	69,595	69,612

ตารางที่ 7.2 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม (ระยะที่ 1) และ วิธีทาบูลีเรซ (ระยะที่ 2) (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของความต้องการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีฮิวริสติก (ระยะที่ 1)	วิธีทาบูลีเรซ (ระยะที่ 2)
57	+	-	+	89,946	89,946
58	+	-	+	124,135	124,135
59	+	-	+	110,693	110,693
60	+	-	+	85,255	85,255
61	+	+	-	95,473	95,473
62	+	+	-	132,187	132,187
63	+	+	-	84,880	84,885
64	+	+	-	116,559	116,559
65	+	+	-	106,652	106,660
66	+	+	-	95,398	95,402
67	+	+	-	67,020	67,048
68	+	+	-	86,063	86,069
69	+	+	-	135,224	135,224
70	+	+	-	77,328	77,328
71	+	+	+	56,203	56,203
72	+	+	+	48,137	48,140
73	+	+	+	95,993	96,038
74	+	+	+	78,510	78,510
75	+	+	+	85,872	85,872
76	+	+	+	67,126	67,126
77	+	+	+	76,357	76,393
78	+	+	+	85,514	85,514
79	+	+	+	96,176	96,176
80	+	+	+	54,993	54,993

เมื่อ - เป็นการทดลองที่ระดับต่ำ (Low level) ของแต่ละปัจจัย
 + เป็นการทดลองที่ระดับสูง (High level) ของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 7.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของอิวิรสติกลอกริทมเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1) กับการหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2)

การทดลองซ้ำที่	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวม (%)							
	ปัจจัย A (Low)				ปัจจัย A (High)			
	ปัจจัย B (Low)		ปัจจัย B (High)		ปัจจัย B (Low)		ปัจจัย B (High)	
	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)
1	0.093	0.111	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000
2	0.039	0.000	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.006
3	0.000	0.009	0.025	0.000	0.022	0.000	0.006	0.047
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.020	0.000	0.000
5	0.066	0.000	0.013	0.000	0.061	0.000	0.008	0.000
6	0.073	0.027	0.000	0.000	0.000	0.024	0.004	0.000
7	0.009	0.000	0.000	0.000	0.120	0.000	0.042	0.047
8	0.040	0.000	0.017	0.007	0.006	0.000	0.007	0.000
9	0.185	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.032	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ค่าเฉลี่ย	0.051	0.018	0.006	0.001	0.028	0.004	0.007	0.010

จากผลการทดลองในตารางที่ 7.3 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของอิวิรสติกลอกริทมเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น (ระยะที่ 1) กับการหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีทาบูเสริช (ระยะที่ 2) มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.015 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าต่ำสุดเป็น 0.001 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงสุดเป็น 0.051 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมในตารางที่ 7.3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ที่เป็นวิธีการทดสอบ Duncan's Multiple Range test โดยใช้โปรแกรมทดสอบทางสถิติ SAS เวอร์ชัน 6.12 ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังผลลัพธ์ที่ 1 และผลลัพธ์ที่ 2 ในภาคผนวก ก ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมมีค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า p-value ของปัจจัยที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็น

เห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวม คือ ปัจจัยที่เป็นจำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อย (ปัจจัย B) ปัจจัยที่เป็นจำนวนแปลงเพาะปลูก (ปัจจัย C) และปัจจัยร่วม (Interaction) ของจำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อยและจำนวนแปลงเพาะปลูก

นอกจากนี้ การทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ แสดงให้เห็นว่า ระดับที่แตกต่างกันของทั้งสองปัจจัยที่มีผลกระทบดังกล่าว นั้น มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับต่ำ (Low level) ของแต่ละปัจจัยมีค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่สูงกว่าที่ระดับสูง (High level) นั่นคือ ปัจจัยวันเก็บเกี่ยวอ้อยและปัจจัยจำนวนแปลงเพาะปลูกที่มีค่าน้อย จะทำให้วิธีทาбуเสริมสามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้มากกว่าปัจจัยวันเก็บเกี่ยวอ้อยและปัจจัยจำนวนแปลงเพาะปลูกที่มีค่ามาก ส่งผลให้วิธีทาбуเสริมที่ประยุกต์ใช้ในปัญหขนาดเล็กมีประสิทธิภาพ

4. การประเมินประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม โดยการเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตบน

ฮิวริสติกอัลกอริทึมการคัดเลือกแปลงเพาะปลูกและการจัดลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อย ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้น ค่าขอบเขตบนจึงถูกนำมาพิจารณาในการประเมินประสิทธิภาพของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้น

การประเมินประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^3 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมกับค่าขอบเขตบน ซึ่งผลผลิตน้ำตาลรวมที่เป็นคำตอบจากทั้งสองวิธีสามารถแสดงดังตารางที่ 7.4 และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมกับค่าขอบเขตบน แสดงดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.4 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมและค่าขอบเขตบน

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของความต้องการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีฮิวริสติก อัลกอริทึม	ค่าขอบเขตบน
1	-	-	-	55,735	58,685
2	-	-	-	68,803	71,821
3	-	-	-	62,385	65,751
4	-	-	-	58,348	62,686
5	-	-	-	66,387	70,395
6	-	-	-	68,675	70,895
7	-	-	-	65,087	68,015
8	-	-	-	62,471	65,133
9	-	-	-	58,606	61,252
10	-	-	-	55,760	59,251
11	-	-	+	137,332	146,304
12	-	-	+	172,361	180,416
13	-	-	+	151,937	157,834
14	-	-	+	159,875	168,680
15	-	-	+	104,453	110,068
16	-	-	+	69,703	73,254
17	-	-	+	90,303	96,200
18	-	-	+	124,725	132,142
19	-	-	+	111,841	118,279
20	-	-	+	84,094	88,015
21	-	+	-	94,918	107,132
22	-	+	-	132,835	148,604
23	-	+	-	85,684	97,025
24	-	+	-	114,185	130,127
25	-	+	-	104,647	114,880
26	-	+	-	95,718	109,753
27	-	+	-	66,874	78,061
28	-	+	-	86,104	98,800
29	-	+	-	133,100	149,465
30	-	+	-	76,469	84,706

ตารางที่ 7.4 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมและค่าขอบเขตบน (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีฮิวริสติก อัลกอริทึม	ค่าขอบเขตบน
31	-	+	+	57,501	66,743
32	-	+	+	48,181	55,090
33	-	+	+	95,528	109,566
34	-	+	+	76,719	88,525
35	-	+	+	85,860	96,138
36	-	+	+	67,354	75,216
37	-	+	+	76,665	87,043
38	-	+	+	85,668	94,844
39	-	+	+	95,370	106,718
40	-	+	+	57,258	63,570
41	+	-	-	53,427	56,712
42	+	-	-	67,134	70,320
43	+	-	-	62,490	66,759
44	+	-	-	55,895	61,268
45	+	-	-	64,648	69,285
46	+	-	-	67,107	69,700
47	+	-	-	63,562	66,883
48	+	-	-	64,050	66,058
49	+	-	-	58,846	61,573
50	+	-	-	54,407	58,526
51	+	-	+	139,091	147,553
52	+	-	+	172,661	180,617
53	+	-	+	150,005	156,109
54	+	-	+	158,733	168,057
55	+	-	+	103,018	109,345
56	+	-	+	69,612	73,050
57	+	-	+	89,946	95,983
58	+	-	+	124,135	131,768
59	+	-	+	110,693	117,331

ตารางที่ 7.4 แสดงผลผลิตน้ำตาลรวมของวิธีวิริสติกอัลกอริทึมและค่าขอบเขตบน (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปัจจัย A ความสม่ำเสมอ ของความต้องการปริมาณ อ้อยในแต่ละวัน	ปัจจัย B จำนวนวันเก็บ เกี่ยวอ้อย	ปัจจัย C จำนวนแปลง เพาะปลูกอ้อย	ผลผลิตน้ำตาลรวม (หน่วย)	
				วิธีวิริสติก อัลกอริทึม	ค่าขอบเขตบน
60	+	-	+	85,255	88,403
61	+	+	-	95,473	107,614
62	+	+	-	132,187	147,817
63	+	+	-	84,885	96,363
64	+	+	-	116,559	131,766
65	+	+	-	106,660	116,552
66	+	+	-	95,402	109,336
67	+	+	-	67,048	77,083
68	+	+	-	86,069	98,770
69	+	+	-	135,224	150,730
70	+	+	-	77,328	85,050
71	+	+	+	56,203	66,087
72	+	+	+	48,140	55,184
73	+	+	+	96,038	109,840
74	+	+	+	78,510	89,515
75	+	+	+	85,872	96,978
76	+	+	+	67,126	75,252
77	+	+	+	76,393	86,609
78	+	+	+	85,514	94,790
79	+	+	+	96,176	107,753
80	+	+	+	54,993	62,091

เมื่อ - เป็นการทดลองที่ระดับต่ำ (Low level) ของแต่ละปัจจัย
 + เป็นการทดลองที่ระดับสูง (High level) ของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 7.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของ
ฮิวริสติกอัลกอริทึมและค่าขอบเขตบน

การ ทดลอง ซ้ำที่	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวม (%)							
	ปัจจัย A (Low)				ปัจจัย A (High)			
	ปัจจัย B (Low)		ปัจจัย B (High)		ปัจจัย B (Low)		ปัจจัย B (High)	
	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)	ปัจจัย C (Low)	ปัจจัย C (High)
1	5.293	6.533	12.868	16.073	6.149	6.084	12.717	17.586
2	4.386	4.673	11.871	14.340	4.746	4.608	11.824	14.632
3	5.396	3.881	13.236	14.695	6.831	4.069	13.522	14.371
4	7.435	5.507	13.962	15.389	9.614	5.874	13.047	14.017
5	6.037	5.376	9.779	11.971	7.173	6.142	9.274	12.933
6	3.233	5.094	14.663	11.673	3.864	4.939	14.606	12.106
7	4.499	6.530	16.728	13.537	5.225	6.712	14.967	13.373
8	4.261	5.947	14.745	10.711	3.135	6.149	14.757	10.847
9	4.515	5.756	12.295	11.899	4.634	5.997	11.467	12.037
10	6.261	4.663	10.772	11.024	7.571	3.692	9.986	12.907
ค่าเฉลี่ย	5.132	5.396	13.092	13.131	5.894	5.427	12.617	13.481

จากผลการทดลองในตารางที่ 7.5 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมที่ได้จากการหาคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึมกับค่าขอบเขตบน มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.271 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าต่ำสุดเป็น 5.132 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงสุดเป็น 13.481 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมในตารางที่ 7.5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ที่เป็นวิธีการทดสอบ Duncan's Multiple Range test โดยใช้โปรแกรมทดสอบทางสถิติ SAS เวอร์ชัน 6.12 ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังผลลัพธ์ที่ 3 และผลลัพธ์ที่ 4 ในภาคผนวก ก ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมมีค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า p-value ของปัจจัยที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 และผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวม คือ ปัจจัยที่เป็นจำนวนวันเก็บเกี่ยวอ้อย (ปัจจัย B)

นอกจากนี้ การทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ แสดงให้เห็นว่า ระดับที่แตกต่างกันของทั้งสองปัจจัยที่มีผลกระทบนั้น มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลผลิตน้ำตาลรวมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับต่ำ (Low level) ของปัจจัยวันเก็บเกี่ยวอ้อยมีค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่ต่ำกว่าที่ระดับสูง (High level) ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่าปัจจัยวันเก็บเกี่ยวอ้อยที่มีค่าน้อย จะทำให้ผลผลิตน้ำตาลรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าขอบเขตบนมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของฮิวริสติกอัลกอริทึมในการหาค่าผลผลิตน้ำตาลรวมมีค่าสูงกว่าตามไปด้วย